

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problems Mailbox.**

THIS PAGE BLANK (USPTO)

18.11.98

日本国特許庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application:

1998年 3月31日

REC'D 04 DEC 1998

WIPO PCT

出願番号
Application Number:

平成10年特許願第086296号

出願人
Applicant(s):

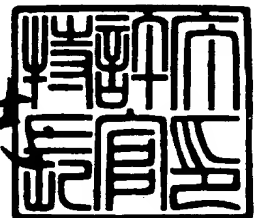
住友電気工業株式会社

PRIORITY DOCUMENT

1998年10月23日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

山田 健太郎



出証番号 出証特平10-3084985

【書類名】 特許願

【整理番号】 98YA0074

【提出日】 平成10年 3月31日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H04B 10/18
H04J 14/02

【発明の名称】 分散補償モジュール

【請求項の数】 11

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社 横浜製作所内

【氏名】 奥野 俊明

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社 横浜製作所内

【氏名】 石川 真二

【特許出願人】

【識別番号】 000002130

【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100088155

【弁理士】

【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

【識別番号】 100089978

【弁理士】

【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

【識別番号】 100092657

【弁理士】

【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】

【識別番号】 100094318

【弁理士】

【氏名又は名称】 山田 行一

【選任した代理人】

【識別番号】 100110582

【弁理士】

【氏名又は名称】 柴田 昌聰

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 平成 9年特許願第337169号

【出願日】 平成 9年12月 8日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9804123

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 分散補償モジュール

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光伝送路に挿入され該光伝送路の信号光波長帯域における波長分散を補償する分散補償モジュールであって、

前記波長分散を補償する分散補償手段と、

前記分散補償手段と縦続接続され、前記信号光波長帯域において前記分散補償手段が有する損失波長特性を補償する損失等化手段と

を備えることを特徴とする分散補償モジュール。

【請求項 2】 前記分散補償手段および前記損失等化手段に縦続接続され、前記信号光波長帯域に含まれる信号光を光増幅する光増幅手段を更に備え、

前記損失等化手段は、前記信号光波長帯域において前記分散補償手段が有する損失波長特性および前記光増幅手段が有する利得特性を補償する

ことを特徴とする請求項 1 記載の分散補償モジュール。

【請求項 3】 多波長信号光を信号光毎に分波する分波器と、前記分波器により分波された信号光を合波して出力する合波器とを更に備え、

前記分散補償手段は、前記分波器の入力側または前記合波器の出力側および前記分波器と前記合波器との間において前記波長分散を補償し、

前記損失等化手段は、前記分波器と前記合波器との間において前記分波された信号光毎の強度レベルを調整する

ことを特徴とする請求項 1 記載の分散補償モジュール。

【請求項 4】 前記損失等化手段は、前記分散補償手段の前段に設けられることを特徴とする請求項 1 記載の分散補償モジュール。

【請求項 5】 前記損失等化手段は、遷移金属がコア領域中に添加された損失等化光ファイバであることを特徴とする請求項 1 記載の分散補償モジュール。

【請求項 6】 前記損失等化手段は、光ファイバに形成され伝搬モードと放射モードとを結合する長周期ファイバグレーティングであることを特徴とする請求項 1 記載の分散補償モジュール。

【請求項 7】 前記分散補償手段は、波長 1.3 μm 帯に零分散波長を有するシングルモード光ファイバまたは分散補償光ファイバであり、

前記損失等化手段は、前記分散補償手段に形成され伝搬モードと放射モードとを結合する長周期ファイバグレーティングである

ことを特徴とする請求項 1 記載の分散補償モジュール。

【請求項 8】 前記損失等化手段は、第 1 および第 2 の光ファイバそれぞれが互いに融着接続された融着部を含むことを特徴とする請求項 1 記載の分散補償モジュール。

【請求項 9】 前記融着部は、前記第 1 および前記第 2 の光ファイバそれぞれの光軸を互いにずらして融着接続されたものであることを特徴とする請求項 8 記載の分散補償モジュール。

【請求項 10】 前記融着部は、前記第 1 および前記第 2 の光ファイバそれぞれのコア領域が曲がり角を有するものであることを特徴とする請求項 8 記載の分散補償モジュール。

【請求項 11】 前記融着部は、前記第 1 および前記第 2 の光ファイバそれぞれのコア領域の径が拡大されたものであることを特徴とする請求項 8 記載の分散補償モジュール。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光伝送路に挿入され該光伝送路の信号光波長帯域における波長分散を補償する分散補償モジュールに関するものである。

【0002】

【従来の技術】

従来より光通信に用いられる光伝送路は、主に伝送用光ファイバおよび光増幅器により構成されている。これらのうち、光増幅器は、信号光が伝送用光ファイバを伝送するうちに減衰を受けて強度が低下することから、適当な中継間隔で配置されて信号光を増幅するものである。この光増幅器は、通常、光増幅部および利得等化部を備え、光増幅作用を奏するだけでなく利得等化作用をも奏する。

したがって、WDM通信を行う場合においては、光増幅器は、多波長の信号光それぞれを略一定の利得で光増幅することができる。

【0003】

一方、伝送用光ファイバとして通常はシングルモード光ファイバが用いられている。このシングルモード光ファイバは波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯で正の波長分散（約 $+17\text{ps/nm/km}$ ）を有するが、波長分散が存在すると信号光のパルス形状が崩れ受信エラーを生ずることがある。特に数ギガbit/sec～数十ギガbit/sec程度にまで高速化すなわち高帯域化が進むと、波長分散の存在は大きな問題となる。そこで、この波長分散を補償するために分散補償器が光伝送路に挿入される（例えば、1997年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会B-10-70および同B-10-71を参照）。この分散補償器として、例えば、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯で大きな負の波長分散（約 -90ps/nm/km ）を有する分散補償光ファイバが用いられる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、分散補償器における損失の波長依存性が無視し得ないほど大きいことから、以下のような問題点がある。例えば、図16に示すように光伝送路中の或る光増幅器1とその次段の光増幅器2との間に分散補償器3が設けられるとし、光増幅器1から出力される多波長信号光の強度レベルは一定であるとする。光増幅器1から出力された多波長信号光は分散補償器3に入力し、伝送用光ファイバの波長分散が補償される。分散補償器3における損失は波長依存性を有することから、分散補償器3から出力される多波長信号光の強度レベルは一定ではない。また、分散補償器3から出力された多波長信号光が光増幅器2に入力しても、光増幅器2から出力される多波長信号光の強度レベルの差異は殆ど変わらない。また、送信局から受信局までの間に複数個の分散補償器が設けられる場合には、受信局に到達する多波長信号光の強度レベルの差異は累積して大きくなる。このように受信局に到達する多波長信号光の強度レベルの差異が大きいと、信号光に依ってはS/Nの劣化を生じ受信できない場合が起こり得る。それ故、分散補償器を挿入する場合には光伝送システム全体を再設計して上記問題を解消する

必要がある。

【0005】

本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、光伝送路の波長分散を補償する分散補償モジュールであって損失の波長依存性が小さく光伝送システムへの挿入が容易なものを提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る分散補償モジュールは、光伝送路に挿入され該光伝送路の信号光波長帯域における波長分散を補償する分散補償モジュールであって、(1) 上記波長分散を補償する分散補償手段と、(2) 分散補償手段と縦続接続され、信号光波長帯域において分散補償手段が有する損失波長特性を補償する損失等化手段と、を備えることを特徴とする。この分散補償モジュールによれば、光伝送路の信号光波長帯域における波長分散は分散補償手段により補償され、信号光波長帯域において分散補償手段が有する損失波長特性は、分散補償手段に縦続接続された損失等化手段により補償される。

【0007】

また、本発明に係る分散補償モジュールでは、分散補償手段および損失等化手段に縦続接続され信号光波長帯域に含まれる信号光を光増幅する光増幅手段を更に備え、損失等化手段は、信号光波長帯域において分散補償手段が有する損失波長特性および光増幅手段が有する利得特性を補償する、ことを特徴とする。この場合には、光伝送路の波長分散は分散補償手段により補償され、分散補償手段が有する損失波長特性および光増幅手段が有する利得特性は損失等化手段により補償される。

【0008】

また、本発明に係る分散補償モジュールでは、多波長信号光を信号光毎に分波する分波器と、分波器により分波された信号光を合波して出力する合波器とを更に備え、分散補償手段は、分波器の入力側または合波器の出力側および分波器と合波器との間において波長分散を補償し、損失等化手段は、分波器と合波器との間において分波された信号光毎の強度レベルを調整する、ことを特徴とする。こ

の場合には、多波長信号光は分波器により信号光毎に分波された後に合波器により合波されるが、光伝送路の波長分散は、分波器の入力側または合波器の出力側および分波器と合波器との間において分散補償手段により補償され、分散補償手段が有する損失波長特性は、分波器と合波器との間において信号光毎の強度レベルを調整する損失等化手段により補償される。

【0009】

また、損失等化手段は分散補償手段の前段に設けられることを特徴とする。この場合には、分散補償モジュールに入力した信号光は損失等化手段により損失を受けた後に分散補償手段に入力することから、分散補償手段において非線形光学現象が生じ難く、信号光の劣化が回避される。

【0010】

また、損失等化手段は遷移金属がコア領域中に添加された損失等化光ファイバであることを特徴とする。この場合には、損失等化手段である損失等化光ファイバは、コア領域中に添加されたCr元素やCo元素等の遷移金属の種類や量を適切に選択することにより、その損失波長特性が分散補償手段の損失波長特性を補償するように設計される。

【0011】

また、損失等化手段は光ファイバに形成され伝搬モードと放射モードとを結合する長周期ファイバグレーティングであることを特徴とする。また、分散補償手段は波長1.3 μm 帯に零分散波長を有するシングルモード光ファイバまたは分散補償光ファイバであり、損失等化手段はその分散補償手段に形成され伝搬モードと放射モードとを結合する長周期ファイバグレーティングであることを特徴とする。これらの場合には、損失等化手段である長周期ファイバグレーティングは、分散補償モジュール全体の損失を大きく劣化させることなく損失等化が可能になり、また、広い波長帯域において所望の損失波長特性を容易に得ることができる。特に後者の場合には、分散補償手段である光ファイバに直接に損失等化手段である長周期ファイバグレーティングを形成したことにより、損失を生ずる接続部を有さないので、接続部における損失の影響を考慮する必要がなく、損失波長特性の調整が容易となる。

【0012】

また、損失等化手段は第1および第2の光ファイバそれぞれが互いに融着接続された融着部を含むことを特徴とする。この場合には、損失等化手段である損失部は、融着条件を適切に設定することにより所望の損失波長特性を有するものとなる。この融着部は、第1および第2の光ファイバそれぞれの光軸を互いにずらして融着接続されたものである場合、第1および第2の光ファイバそれぞれのコア領域が曲がりをもつものである場合、ならびに、第1および第2の光ファイバそれぞれのコア領域の径が拡大されたものである場合、の何れの場合にも好適に所望の損失波長特性を得ることができる。

【0013】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。尚、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0014】

(第1の実施形態)

まず、第1の実施形態について説明する。図1は、第1の実施形態に係る分散補償モジュールの構成図である。なお、この図には、本実施形態に係る分散補償モジュール10だけでなく、分散補償モジュール10の前段の光増幅器1および次段の光増幅器2をも示し、また、各位置における多波長信号光の強度レベルをも示している。この分散補償モジュール10は、分散補償光ファイバ11と損失等化器12とが互いに縦続接続されて構成されている。

【0015】

分散補償光ファイバ11は、この分散補償モジュール10が挿入される光伝送路の信号光波長帯域における波長分散を補償するものである。一般に光伝送路として用いられるシングルモード光ファイバは正の波長分散スロープを有することから、分散補償光ファイバ11として負の波長分散スロープを有するもの、すなわち、W型の分散補償光ファイバ(中心の高屈折率のコア領域と最外周のクラッド領域との間に低屈折率のディプレスト領域を備える屈折率プロファイルを有するもの)が用いられる。

【0016】

一方、損失等化器 12 は、信号光波長帯域において分散補償光ファイバ 11 が有する損失波長特性を補償するものである。この損失等化器 12 として、例えば、多層膜フィルタ、長周期ファイバグレーティング、ファブリペローエタロン等が好適に用いられる。

【0017】

図 2 は、この分散補償モジュール 10 の損失波長特性の説明図である。分散補償光ファイバ 11 の損失波長特性は、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯において一般に波長が長いほど損失が小さい（図 2（a））。これに対して、損失等化器 12 の損失波長特性は、波長が長いほど損失が大きく、分散補償光ファイバ 11 の損失波長特性を補償することができるように設計されている（図 2（b））。したがって、分散補償モジュール 10 全体の総合損失は、分散補償光ファイバ 11 および損失等化器 12 それぞれの損失波長特性を総合したものであり、波長依存性が小さいものとなる（図 2（c））。

【0018】

（第 2 の実施形態）

次に、第 2 の実施形態について説明する。図 3 は、第 2 の実施形態に係る分散補償モジュールの構成図である。本実施形態に係る分散補償モジュール 20 は、第 1 の実施形態の場合と比較すると、分散補償光ファイバ 11 に替えて、3 端子サーキュレータ 21 およびチャープドグレーティング 22 からなる波長分散器 23 を備える点で異なる。

【0019】

3 端子サーキュレータ 21 は、端子 21 A に入力した光を端子 21 B に出力し、また、端子 21 B に入力した光を端子 21 C に出力するものである。一方、チャープドグレーティング 22 は、3 端子サーキュレータ 21 の端子 21 B に接続された光ファイバの光導波領域に形成されたグレーティングであり、端子 21 B から遠いほどグレーティング周期は短い。

【0020】

この 3 端子サーキュレータ 21 およびチャープドグレーティング 22 からなる

分散補償器 23 に多波長信号光が入力すると、その多波長信号光は、まず 3 端子サーキュレータ 21 の端子 21 A に入力して端子 21 B から出力し、各波長に応じてチャープドグレーティング 22 においてブラッグ条件を満たす位置でブラッグ反射し、再び 3 端子サーキュレータ 21 の端子 21 B に入力して端子 21 C から出力する。すなわち、多波長信号光は、端子 21 A に入力し端子 21 C から出力するまで各波長に応じて伝搬時間が異なる。したがって、この分散補償器 23 は、この分散補償モジュール 20 が挿入される光伝送路の信号光波長帯域における波長分散を補償するものである。

【0021】

損失等化器 24 は、信号光波長帯域において分散補償器 23 が有する損失波長特性を補償するものである。この損失等化器 24 として、例えば、多層膜フィルタ、長周期ファイバグレーティング、ファブリペローエタロン等が好適に用いられる。本実施形態においても、分散補償モジュール 20 全体の総合損失は、分散補償器 23 よび損失等化器 24 それぞれの損失波長特性を総合したものであり、波長依存性が小さいものとなる。

【0022】

(第 3 の実施形態)

次に、第 3 の実施形態について説明する。図 4 は、第 3 の実施形態に係る分散補償モジュールの構成図である。本実施形態に係る分散補償モジュール 30 は、分散補償光ファイバ 31 と損失等化器 32 と光増幅器 33 とが縦続接続されて構成されている。

【0023】

分散補償光ファイバ 31 は、この分散補償モジュール 30 が挿入される光伝送路の信号光波長帯域における波長分散を補償するものである。光増幅器 33 は、入力した信号光波長帯域に含まれる多波長信号光を光増幅して出力するものであり、その利得特性は必ずしも波長に対して平坦でなくてよい。この光増幅器 33 として、Er (エルビウム) 元素が添加された光ファイバ (EDF: Erbium-Doped fiber) を用いた光ファイバ増幅器 (EDFA: Erbium-Doped fiber amplifier) が好適に用いられる。損失等化器 32 は、信号光波長帯域において分散補償

光ファイバ 31 が有する損失波長特性および光増幅器 33 が有する利得特性を同時に補償するものである。この損失等化器 32 としても、例えば、多層膜フィルタ、長周期ファイバグレーティング、ファブリペローエタロン等が好適に用いられる。

【0024】

したがって、本実施形態に係る分散補償モジュール 30 全体の総合損失は、分散補償光ファイバ 31 および損失等化器 32 それぞれの損失波長特性ならびに光増幅器 33 の利得特性を総合したものであり、波長依存性が小さいものとなる。

【0025】

(第 4 の実施形態)

次に、第 4 の実施形態について説明する。図 5 は、第 4 の実施形態に係る分散補償モジュールの構成図である。なお、ここでは簡略化のために 3 波長の信号光の場合について説明し、その 3 波長を λ_1 、 λ_2 および λ_3 ($\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$) とするが、これに限られるものではない。

【0026】

この分散補償モジュール 40 は、多波長信号光を信号光毎に分波する分波器 42 と、この分波器 42 により分波された信号光を合波して出力する合波器 48 とを備え、また、分散補償手段として分散補償光ファイバ 41、43 および 44 を備え、損失等化手段として光減衰器 45～47 を備えている。

【0027】

分散補償光ファイバ 41 は、分波器 42 の入力側に設けられている。本実施形態では、分散補償光ファイバ 41 として、マッチド型の分散補償光ファイバ（中心の高屈折率のコア領域の周囲に低屈折率のクラッド領域を備える屈折率プロファイルを有するもの）が用いられ得る。この場合、一般に光伝送路として用いられるシングルモード光ファイバは正の波長分散スロープを有し、また、分散補償光ファイバ 41 も正の波長分散スロープを有することから、分散補償光ファイバ 41 は、3 波長信号光のうちの 1 波長（ここでは中心の波長 λ_2 とする）の信号光に対してのみ波長分散を補償することができる。ただし、分散補償光ファイバ

41は、他の2波長 λ_1 および λ_3 の信号光それぞれに対しては波長分散を完全に補償することができない。

【0028】

分散補償光ファイバ41から出力された3波長信号光は、分波器42により信号光毎に分波される。そして、波長 λ_1 の信号光は、光減衰器45および分散補償光ファイバ43を順次に経て合波器48に入力し、波長 λ_2 の信号光は、光減衰器46を経て合波器48に入力し、波長 λ_3 の信号光は、光減衰器47および分散補償光ファイバ44を順次に経て合波器48に入力する。

【0029】

分散補償光ファイバ43は、波長 λ_1 の信号光の残留波長分散を補償するものであり、分散補償光ファイバ44は、波長 λ_3 の信号光の残留波長分散を補償するものである。すなわち、分散補償光ファイバ43および44は、分散補償光ファイバ41において波長 λ_1 および λ_3 の信号光それぞれに対して補償しきれないで生じた残留波長分散を補償する。なお、この分散補償光ファイバ43および44それぞれとしてもマッチド型の分散補償光ファイバが用いられ得る。光減衰器45～47は、波長 λ_1 ～ λ_3 の信号光それぞれの強度レベルを調整して、合波器48により合波された後の3波長信号光の強度レベルを平坦化するものである。

【0030】

以上のように、この分散補償モジュール40は、波長 λ_1 の信号光に対しては分散補償光ファイバ41および43により分散補償し、波長 λ_2 の信号光に対しては分散補償光ファイバ41により分散補償し、波長 λ_3 の信号光に対しては分散補償光ファイバ41および44により分散補償する。また、分散補償モジュール40は、光減衰器45～47により3波長 λ_1 ～ λ_3 の信号光それぞれについて強度レベルを調整して、全体における3波長信号光の利得または損失の波長依存性を平坦にすることができる。さらに、この分散補償モジュール40は、W型分散補償光ファイバと比較して安価なマッチド型分散補償光ファイバを分散補償光ファイバ41、43および44として用いることができる点でも好適である。

【0031】

なお、本実施形態において、接続の態様は種々のものが有り得、例えば、分散補償光ファイバ41は、合波器48の出力側に接続されていてもよい。また、光減衰器45～47を波長毎に設けるのではなく、所定の減衰波長特性を有する1つの光減衰器を分波器42の入力側または合波器48の出力側に設けてもよい。

【0032】

(第5の実施形態)

次に、第5の実施形態について説明する。図6は、第5の実施形態に係る分散補償モジュールの構成図である。本実施形態に係る分散補償モジュール50は、損失等化器51と分散補償光ファイバ52とが互いに縦続接続されて構成されており、第1の実施形態(図1)と比較すると、損失等化器51が分散補償光ファイバ52の前段に設けられている点で異なる。

【0033】

本実施形態の場合でも、第1の実施形態の場合と同様に、分散補償光ファイバ52は、この分散補償モジュール50が挿入される光伝送路の信号光波長帯域における波長分散を補償するものである。また、損失等化器51の損失波長特性は、分散補償光ファイバ52の損失波長特性を補償するように設計されており、したがって、分散補償モジュール50全体の総合損失は、損失等化器51および分散補償光ファイバ52それぞれ損失波長特性を総合したものであり、波長依存性が小さいものとなる。

【0034】

さらに、本実施形態の場合には、損失等化器51が分散補償光ファイバ52の前段に設けられていることから、以下のような効果をも奏する。すなわち、分散補償光ファイバ52に入力する信号光の強度が最大許容値を超えると、分散補償光ファイバ52において非線形光学現象が生じ信号光が劣化するので、分散補償光ファイバ52に入力する信号光の強度は最大許容値以下であることが望まれる。本実施形態では、損失等化器51を分散補償光ファイバ52の前段に設けることにより、この分散補償モジュール50の入射端に入力する信号光の強度は、上

記の最大許容値と損失等化器51における損失の値とを加えた値まで許容されることになる。したがって、本実施形態の場合には、第1の実施形態の場合と比較して、分散補償モジュール50の入射端に入力する信号光のパワーマージンが増加し、分散補償光ファイバ52において非線形光学現象が生じ難く、信号光の劣化が回避される。

【0035】

(第6の実施形態)

次に、第6の実施形態について説明する。図7は、第6の実施形態に係る分散補償モジュールの構成図である。本実施形態に係る分散補償モジュール60は、分散補償光ファイバ61と損失等化光ファイバ62とが融着接続されて構成されている。

【0036】

分散補償光ファイバ61は、この分散補償モジュール60が挿入される光伝送路の信号光波長帯域における波長分散を補償するものである。損失等化光ファイバ62は、Cr元素やCo元素等の遷移金属が少なくともコア領域中に添加された光ファイバであり、添加される遷移金属の種類や量を適切に選択することにより、その損失波長特性が分散補償光ファイバ61の損失波長特性を補償するように設計されている。したがって、分散補償モジュール60全体の総合損失は、分散補償光ファイバ61および損失等化光ファイバ62それぞれ損失波長特性を総合したものであり、波長依存性が小さいものとなる。

【0037】

図8は、この分散補償モジュール60の損失波長特性の説明図である。この図に示すように、分散補償光ファイバ(DCF)61の損失波長特性は、波長1.55 μ m帯において一般に波長が長いほど損失が小さい。これに対して、損失等化光ファイバ62は、コア領域にCo元素が濃度10ppm程度添加されたシングルモード光ファイバであり、波長が長いほど損失が大きく、分散補償光ファイバ61の損失波長特性を補償することができるように設計されている。分散補償モジュール60全体の総合損失は、分散補償光ファイバ61および損失等化光ファイバ62それぞれの損失波長特性を総合したものであり、波長1520nm～

1570nmの範囲で損失の偏差が0.1dB以下である。

【0038】

(第7の実施形態)

次に、第7の実施形態について説明する。図9は、第7の実施形態に係る分散補償モジュールの構成図である。本実施形態に係る分散補償モジュール70は、分散補償光ファイバ71と長周期ファイバグレーティング72が形成された光ファイバ73とが融着接続されて構成されている。光ファイバ73は、波長1.3 μ m帯に零分散波長を有するシングルモード光ファイバ、または、分散補償光ファイバであるのが好適である。

【0039】

分散補償光ファイバ71は、この分散補償モジュール70が挿入される光伝送路の信号光波長帯域における波長分散を補償するものである。長周期ファイバグレーティング72は、光ファイバ73の少なくともコア領域中に一定周期の屈折率変調が形成されたものであり、その屈折率変調の周期が数百 μ m程度の長周期であって、光がコア領域を伝搬するモードである伝搬モードと光がクラッド領域へ放射されるモードである放射モードとを結合するものである。そして、長周期ファイバグレーティング72は、その屈折率変調の周期や長さを適切に選択することにより、例えば、波長1520nmで最小の損失を有し、波長1570nmで最大の損失を有して、その損失波長特性が分散補償光ファイバ71の損失波長特性を補償するように設計されている。

【0040】

したがって、分散補償モジュール70全体の総合損失は、分散補償光ファイバ71および長周期ファイバグレーティング72それぞれ損失波長特性を総合したものであり、波長依存性が小さいものとなる。このように損失等化手段として長周期ファイバグレーティング72を用いることにより、分散補償モジュール70全体の損失を大きく劣化させることなく損失等化が可能になる。また、広い波長帯域において所望の損失波長特性を容易に得ることができる。

【0041】

図10は、この分散補償モジュール70の損失波長特性の説明図である。この

図に示すように、分散補償光ファイバ(DCF)71の損失波長特性は、波長1550nm帯において一般に波長が長いほど損失が小さい。これに対して、長周期ファイバグレーティング(長周期FG)72の損失波長特性は、波長が長いほど損失が大きく、分散補償光ファイバ71の損失波長特性を補償することができるように設計されている。分散補償モジュール70全体の総合損失は、分散補償光ファイバ71および長周期ファイバグレーティング72それぞれの損失波長特性を総合したものであり、波長1520nm~1570nmの範囲で損失の偏差が0.1dB以下である。

【0042】

(第8の実施形態)

次に、第8の実施形態について説明する。図11は、第8の実施形態に係る分散補償モジュールの構成図である。本実施形態に係る分散補償モジュール80は、分散補償手段である分散補償光ファイバ81に直接に損失等化手段である長周期ファイバグレーティング82が形成されて構成されている。

【0043】

分散補償光ファイバ81は、この分散補償モジュール80が挿入される光伝送路の信号光波長帯域における波長分散を補償するものである。長周期ファイバグレーティング82は、この分散補償光ファイバ81の少なくともコア領域中に一定周期の屈折率変調が形成されたものであり、その屈折率変調の周期が数百μm程度の長周期であって、光がコア領域を伝搬するモードである伝搬モードと光がクラッド領域へ放射されるモードである放射モードとを結合するものである。そして、長周期ファイバグレーティング82は、その屈折率変調の周期や長さを適切に選択することにより、例えば、波長1520nmで最小の損失を有し、波長1570nmで最大の損失を有して、その損失波長特性が分散補償光ファイバ81本来の損失波長特性を補償するように設計されている。

【0044】

したがって、分散補償モジュール70全体の総合損失は、分散補償光ファイバ81本来および長周期ファイバグレーティング82それぞれ損失波長特性を総合したものであり、波長依存性が小さいものとなる。このように損失等化手段とし

て長周期ファイバグレーティング 82 を用いることにより、分散補償モジュール 80 全体の損失を大きく劣化させることなく損失等化が可能になる。また、広い波長帯域において所望の損失波長特性を得ることができる。また、本実施形態では、分散補償光ファイバ 81 に直接に損失等化手段である長周期ファイバグレーティング 82 を形成したことにより、損失を生ずる接続部を有さないので、接続部における損失の影響を考慮する必要がなく、損失波長特性の調整が容易となる。

【0045】

図 12 は、この分散補償モジュール 80 の損失波長特性の説明図である。この図に示すように、長周期ファイバグレーティング (FG) 82 が形成される前の分散補償光ファイバ (DCF) 81 本来の損失波長特性は、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯において一般に波長が長いほど損失が小さい。これに対して、長周期ファイバグレーティング (FG) 82 の損失波長特性は、波長が長いほど損失が大きく、分散補償光ファイバ 81 本来の損失波長特性を補償することができるように設計されている。長周期ファイバグレーティング 82 が形成された分散補償光ファイバ 81 すなわち分散補償モジュール 80 全体の総合損失は、分散補償光ファイバ 81 本来および長周期ファイバグレーティング 82 それぞれの損失波長特性を総合したものであり、波長 $1520\text{nm}\sim 1570\text{nm}$ の範囲で損失の偏差が 0.1dB 以下である。

【0046】

(第 9 の実施形態)

次に、第 9 の実施形態について説明する。図 13 は、第 9 の実施形態に係る分散補償モジュールの構成図である。本実施形態に係る分散補償モジュール 90 は、分散補償光ファイバ 91 とシングルモード光ファイバ 92 とが融着部 93 で互いに融着接続されて構成されている。

【0047】

分散補償光ファイバ 91 は、この分散補償モジュール 90 が挿入される光伝送路の信号光波長帯域における波長分散を補償するものである。融着部 93 は、損失を生じさせるものであるが、その損失波長特性は、融着接続の際の加熱温度や

ファイバの押し込み量などの条件に依存するものであり、その融着条件を適切に設定することにより調整することができる。

【0048】

図14は、この分散補償モジュール90の損失波長特性の説明図である。この図に示すように、分散補償光ファイバ(DCF)91の損失波長特性は、波長1555 μ m帯において一般に波長が長いほど損失が小さい。これに対して、融着部93の損失波長特性は、波長が長いほど損失が大きく、分散補償光ファイバ91の損失波長特性を補償することができるように設計されている。分散補償モジュール90全体の総合損失は、分散補償光ファイバ91、シングルモード光ファイバ92および融着部93それぞれの損失波長特性を総合したものであり、波長1520nm~1570nmの範囲で損失の偏差が0.1dB以下である。

【0049】

また、融着部93の損失波長特性は、融着部93における分散補償光ファイバ91およびシングルモード光ファイバ92それぞれの間の光軸ずれ量にも依存するものであり、融着接続の際に光軸ずれ量を適切に設定することによっても調整することができる。

【0050】

図15は、分散補償光ファイバ91およびシングルモード光ファイバ92それぞれの光軸を互いにずらした場合の分散補償モジュール90の損失波長特性の説明図である。光軸ずれ量が或る値であるときには、融着部93の損失波長特性は、図中で「融着部A」で示したような特性となり、分散補償モジュール90全体の総合損失は、図中で「DCF with 融着部A」で示したような特性となる。また、光軸ずれ量が別の或る値であるときには、融着部93の損失波長特性は、図中で「融着部B」で示したような特性となり、分散補償モジュール90全体の総合損失は、図中で「DCF with 融着部B」で示したような特性となる。このように、融着部93における光軸ずれ量を適切に設定することにより、分散補償モジュール90全体の総合損失は、波長1520nm~1570nmの範囲で損失の偏差を0.1dB以下とすることができる。

【0051】

また、融着部 93 の損失波長特性は、融着部 93 における分散補償光ファイバ 91 およびシングルモード光ファイバ 92 それぞれのコア領域の微小曲がりにも依存するものであり、曲げ径や曲げの組み合わせを適切に設定することによっても調整することができる。さらに、融着部 93 の損失波長特性は、融着部 93 における分散補償光ファイバ 91 およびシングルモード光ファイバ 92 それぞれのコア領域の径にも依存するものであり、融着接続の際にコア領域の径を適切に拡大することによっても調整することができる。これら何れの場合にも、分散補償モジュール 90 全体の総合損失は、波長 1520 nm～1570 nm の範囲で損失の偏差を 0.1 dB 以下とすることができる。

【0052】

なお、上記の説明において、分散補償光ファイバ 91 とシングルモード光ファイバ 92 とを融着接続したが、これに限られるものではない。例えば、分散補償光ファイバ 91 に替えてシングルモード光ファイバであってもよいし、シングルモード光ファイバ 92 に替えて分散補償光ファイバまたは他の光ファイバであってもよい。何れの場合にも、両者の間の融着部の損失波長特性を調整することにより、分散補償モジュール全体の総合損失の波長依存性を小さくすることができる。

【0053】

本発明は、上記実施形態に限定されるものではなく種々の変形が可能である。例えば、各実施形態それぞれにおいて、分散補償手段および損失等化手段の接続の順序は任意である。ただし、第 5 の実施形態で説明したように、損失等化手段が分散補償手段の前段に設けられる場合には、分散補償モジュールの入射端に入力する信号光のパワーマージンが増加し、非線形光学現象が生じ難く信号光の劣化が抑制される点で好適である。

【0054】

【発明の効果】

以上、詳細に説明したとおり、本発明に係る分散補償モジュールによれば、光伝送路の信号光波長帯域における波長分散は分散補償手段により補償され、信号

光波長帯域において分散補償手段が有する損失波長特性は、分散補償手段に縦続接続された損失等化手段により補償される。すなわち、光伝送路の波長分散が補償されるだけでなく、分散補償モジュール全体の損失の波長依存性が小さいので、受信局に到達する多波長信号光の強度レベルの差異は小さく、多波長信号光それぞれは十分な強度レベルおよび S/N 比で受信局に到達し、受信局における受信エラーは生じない。また、この分散補償モジュールを光伝送路中に挿入するに際して、光伝送路全体を再設計する必要がなく、光伝送路中に既設の光増幅器や損失等化器等の特性を調整する必要もない。

【0055】

また、分散補償手段および損失等化手段に縦続接続され信号光波長帯域に含まれる信号光を光増幅する光増幅手段を更に備え、損失等化手段が信号光波長帯域において分散補償手段が有する損失波長特性および光増幅手段が有する利得特性を補償する場合には、光伝送路の波長分散が補償され、分散補償モジュール全体の損失の波長依存性が小さく、さらに、光増幅作用をも奏するので、多波長信号光それぞれは十分な強度レベルおよび S/N 比で受信局に到達し、受信局における受信エラーは生じない。また、この分散補償モジュールを光伝送路中に挿入するに際して、光伝送路全体を再設計する必要がなく、光伝送路中に既設の光増幅器や損失等化器等の特性を調整する必要もなく、あるいは、既設の光増幅器と置き換えることもできる。

【0056】

また、多波長信号光を信号光毎に分波する分波器と、分波器により分波された信号光を合波して出力する合波器と、を更に備え、分散補償手段が分波器の入力側または合波器の出力側および分波器と合波器との間において波長分散を補償し、損失等化手段が分波器と合波器との間において分波された信号光毎の強度レベルを調整する場合には、上記の効果に加えて、分散補償手段として安価なマッチド型分散補償光ファイバを用いることができる点でも好適である。

【0057】

また、損失等化手段は分散補償手段の前段に設けられる場合には、分散補償モジュールに入力した信号光は損失等化手段により損失を受けた後に分散補償手段

に入力することから、分散補償手段において非線形光学現象が生じ難く、信号光の劣化が回避される。

【0058】

また、損失等化手段は遷移金属がコア領域中に添加された損失等化光ファイバである場合には、損失等化手段である損失等化光ファイバは、コア領域中に添加されたCr元素やCo元素等の遷移金属の種類や量を適切に選択することにより、その損失波長特性が分散補償手段の損失波長特性を補償するように設計される。

【0059】

また、損失等化手段は光ファイバに形成され伝搬モードと放射モードとを結合する長周期ファイバグレーティングである場合、または、分散補償手段は波長1.3 μ m帯に零分散波長を有するシングルモード光ファイバまたは分散補償光ファイバであり、損失等化手段はその分散補償手段に形成され伝搬モードと放射モードとを結合する長周期ファイバグレーティングである場合には、損失等化手段である長周期ファイバグレーティングは、分散補償モジュール全体の損失を大きく劣化させることなく損失等化が可能になり、また、広い波長帯域において所望の損失波長特性を容易に得ることができる。特に後者の場合には、分散補償手段である光ファイバに直接に損失等化手段である長周期ファイバグレーティングを形成したことにより、損失を生ずる接続部を有さないので、接続部における損失の影響を考慮する必要がなく、損失波長特性の調整が容易となる。

【0060】

また、損失等化手段は第1および第2の光ファイバそれぞれが互いに融着接続された融着部を含む場合には、損失等化手段である損失部は、融着条件を適切に設定することにより所望の損失波長特性を有するものとなる。この融着部は、第1および第2の光ファイバそれぞれの光軸を互いにずらして融着接続されたものである場合、第1および第2の光ファイバそれぞれのコア領域が曲がり角を有するものである場合、ならびに、第1および第2の光ファイバそれぞれのコア領域の径が拡大されたものである場合、の何れの場合にも好適に所望の損失波長特性を得ることができる。

【0061】

以上のようにして損失等化手段を構成することにより、分散補償モジュールは、波長1520nm～1570nmの範囲で全体の損失の偏差を0.1dB以下とすることができ、損失の波長依存性が小さく、光伝送システムへの挿入が容易なものとなる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

第1の実施形態に係る分散補償モジュールの構成図である。

【図2】

第1の実施形態に係る分散補償モジュールの損失波長特性の説明図である。

【図3】

第2の実施形態に係る分散補償モジュールの構成図である。

【図4】

第3の実施形態に係る分散補償モジュールの構成図である。

【図5】

第4の実施形態に係る分散補償モジュールの構成図である。

【図6】

第5の実施形態に係る分散補償モジュールの構成図である。

【図7】

第6の実施形態に係る分散補償モジュールの構成図である。

【図8】

第6の実施形態に係る分散補償モジュールの損失波長特性の説明図である。

【図9】

第7の実施形態に係る分散補償モジュールの構成図である。

【図10】

第7の実施形態に係る分散補償モジュールの損失波長特性の説明図である。

【図11】

第8の実施形態に係る分散補償モジュールの構成図である。

【図 1 2】

第 8 の実施形態に係る分散補償モジュールの損失波長特性の説明図である。

【図 1 3】

第 9 の実施形態に係る分散補償モジュールの構成図である。

【図 1 4】

第 9 の実施形態に係る分散補償モジュールの損失波長特性の説明図である。

【図 1 5】

第 9 の実施形態に係る分散補償モジュールの損失波長特性の説明図である。

【図 1 6】

従来の分散補償器の構成図である。

【符号の説明】

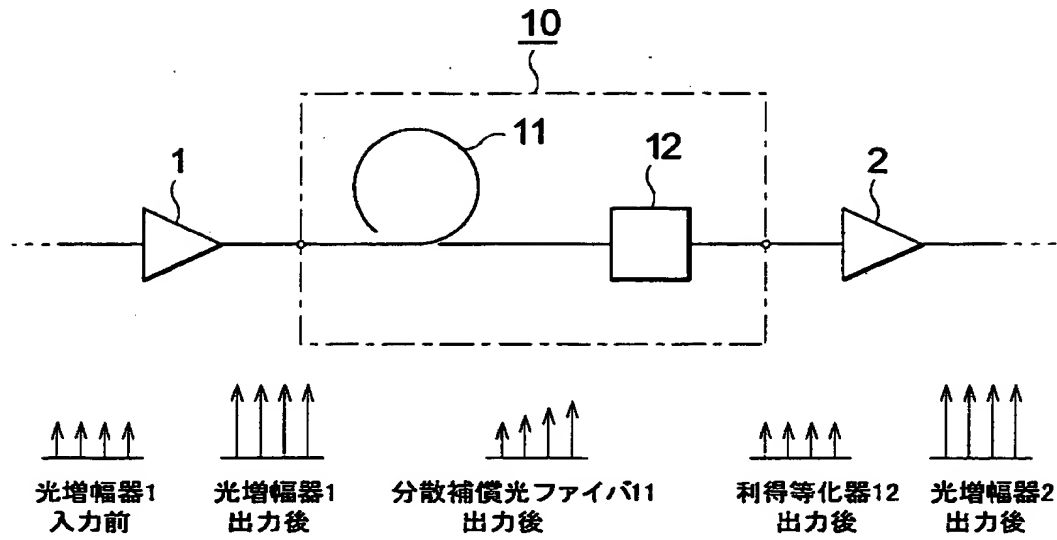
10…分散補償モジュール、11…分散補償光ファイバ、12…損失等化器、
20…分散補償モジュール、21…3端子サーキュレータ、22…チャープドグ
レーティング、23…分散補償器、24…損失等化器、30…分散補償モジュー
ル、31…分散補償光ファイバ、32…損失等化器、33…光増幅器、40…分
散補償モジュール、41…分散補償光ファイバ、42…分波器、43、44…分
散補償光ファイバ、45～47…光減衰器、48…合波器、50…分散補償モジ
ュール、51…損失等化器、52…分散補償光ファイバ、60…分散補償モジ
ュール、61…分散補償光ファイバ、62…損失等化光ファイバ、70…分散補償
モジュール、71…分散補償光ファイバ、72…長周期ファイバグレーティング
、73…光ファイバ、80…分散補償モジュール、81…分散補償光ファイバ、
82…長周期ファイバグレーティング、90…分散補償モジュール、91…分散
補償光ファイバ、92…シングルモード光ファイバ、93…融着部。

代理人弁理士 長谷川 芳樹

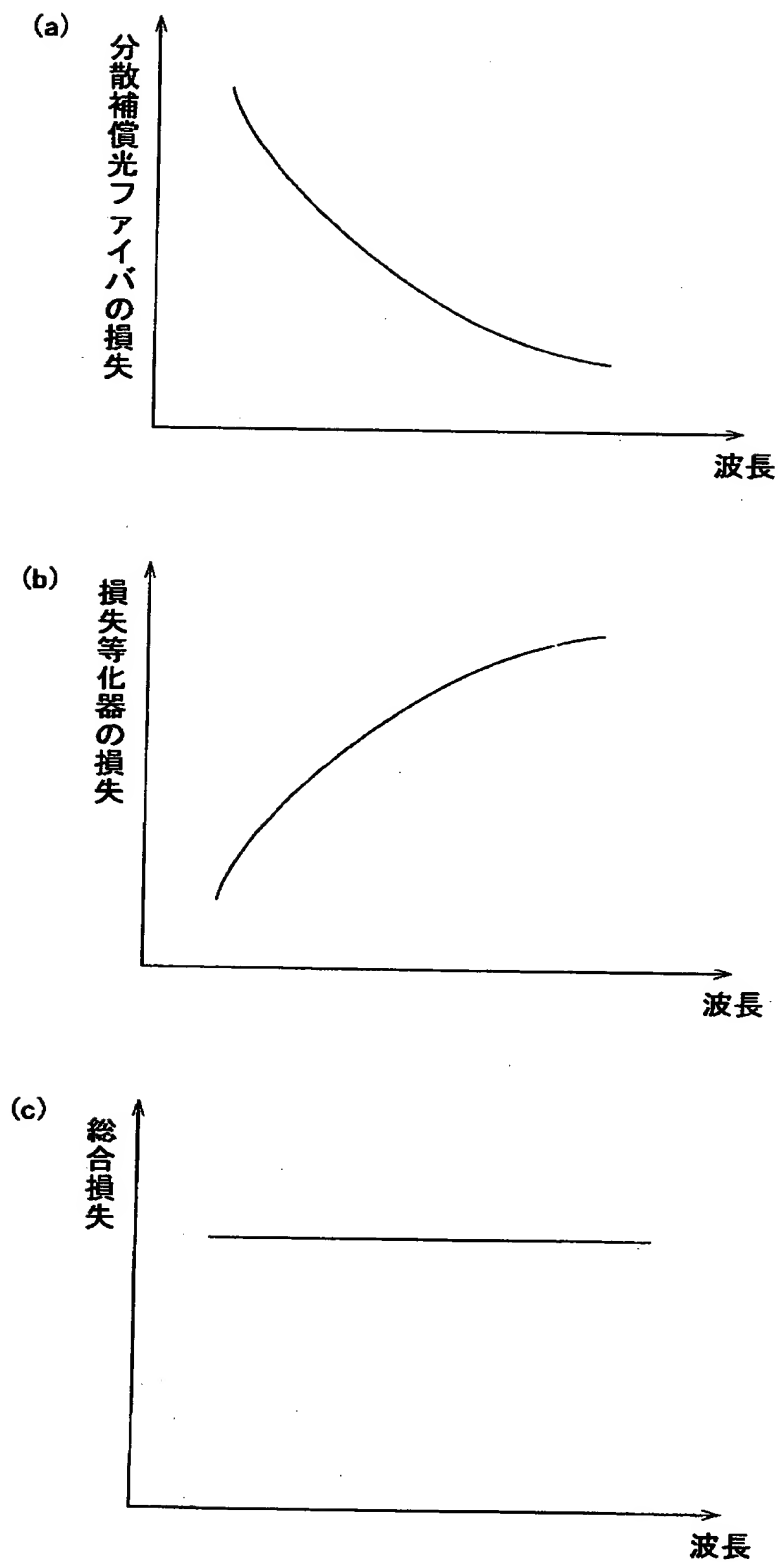
同 柴田 昌聰

【書類名】 図面

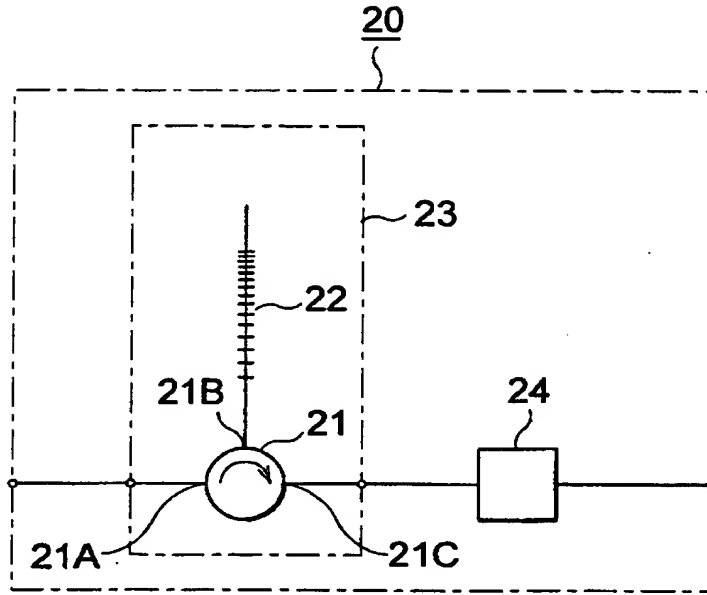
【図 1】



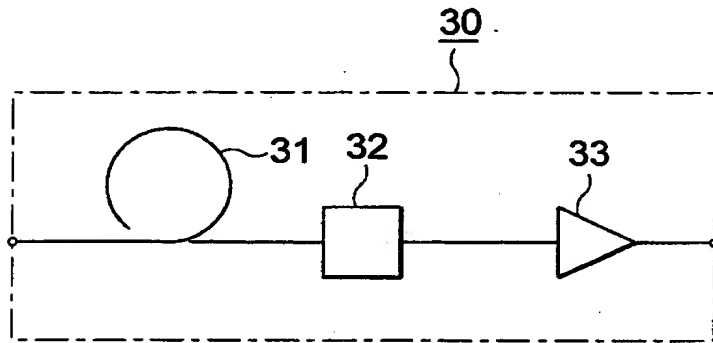
【図2】



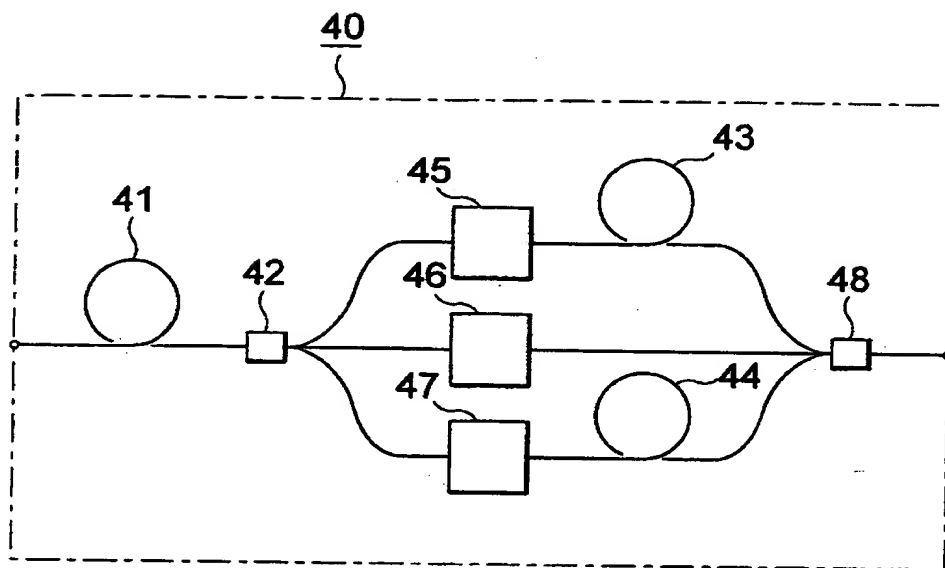
【図 3】



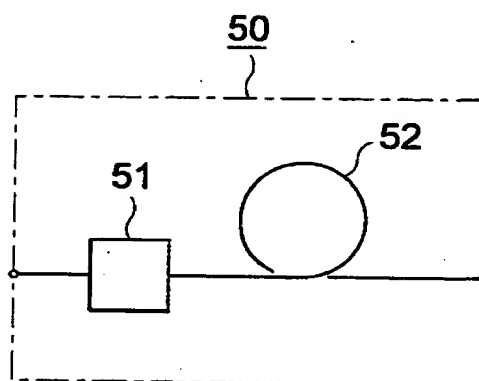
【図 4】



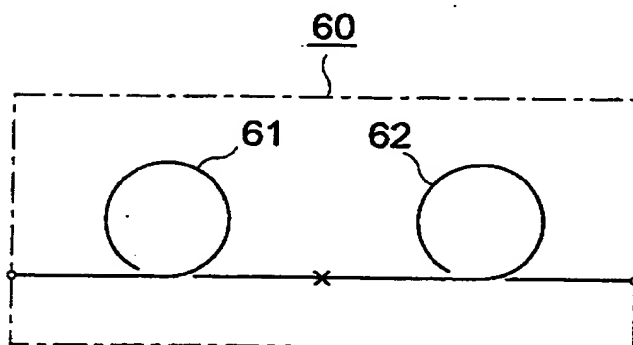
【図 5】



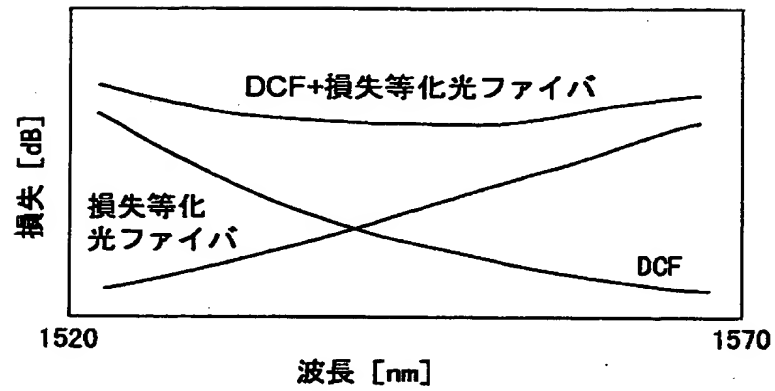
【図 6】



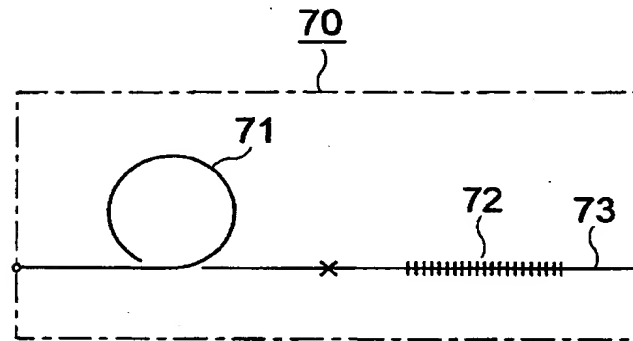
【図 7】



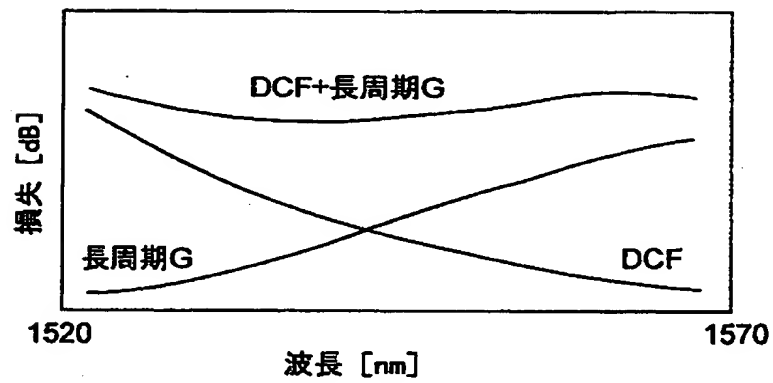
【図 8】



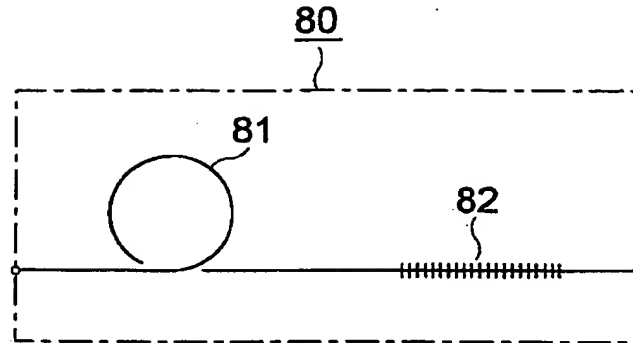
【図 9】



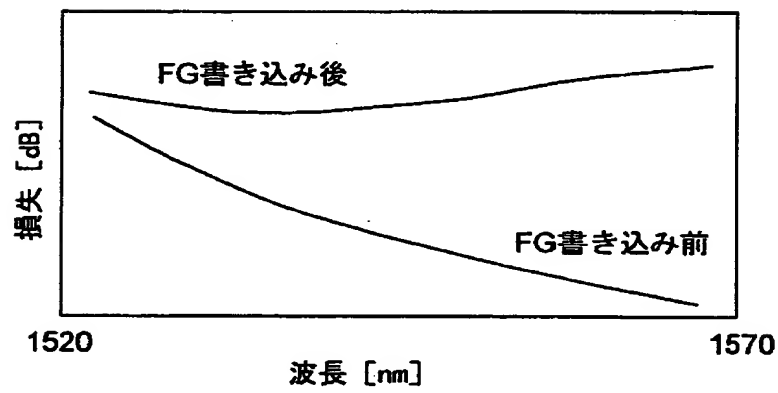
【図 10】



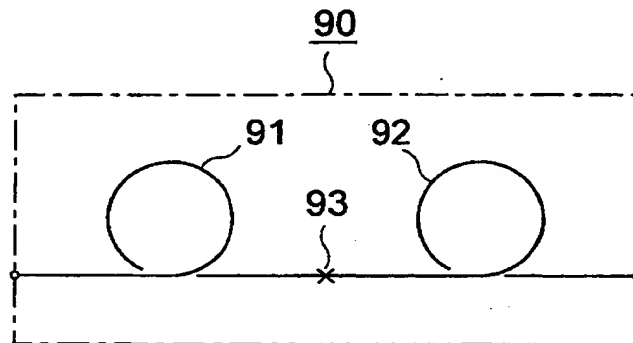
【図 11】



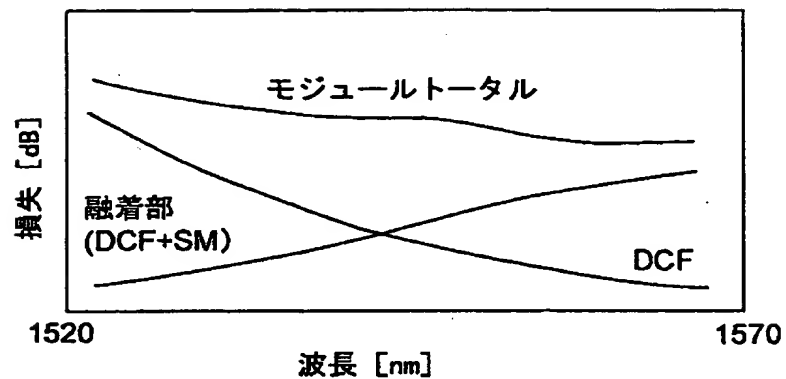
【図 12】



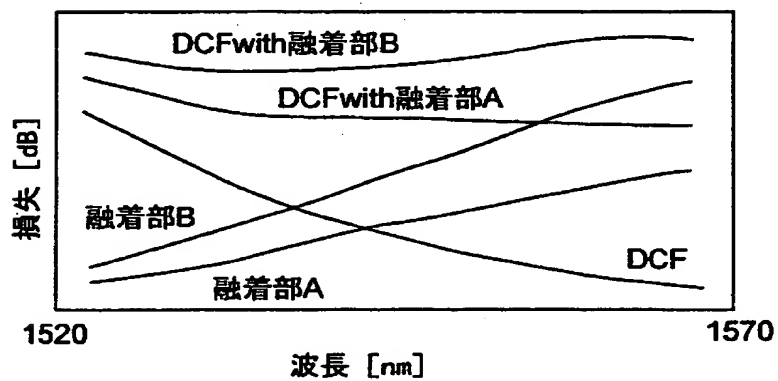
【図 13】



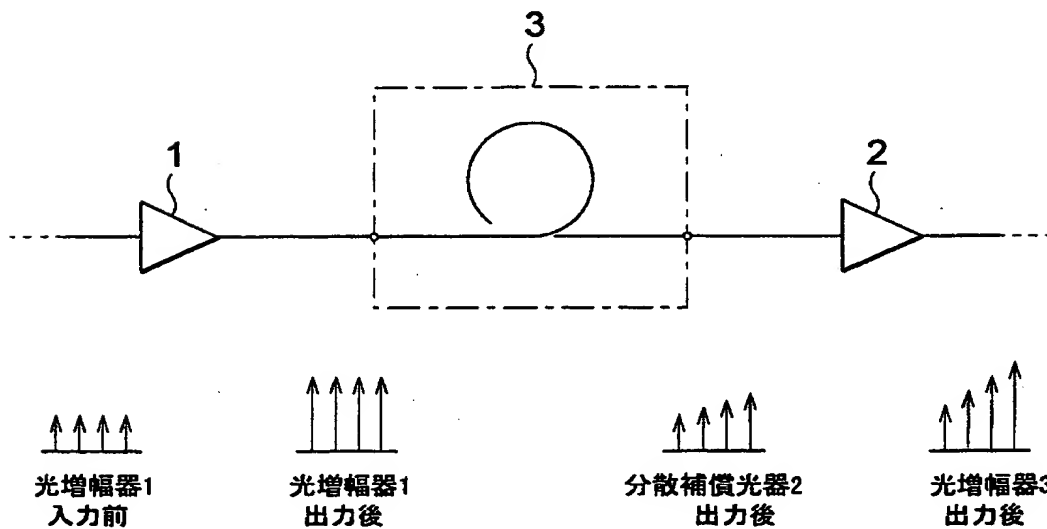
【図 14】



【図 15】



【図 16】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 光伝送路の波長分散を補償する分散補償モジュールであって損失の波長依存性が小さく光伝送システムへの挿入が容易なものを提供する。

【解決手段】 分散補償モジュール 10 は、分散補償光ファイバ 11 と損失等化器 12 とが互いに縦続接続されて構成される。分散補償光ファイバ 11 は、この分散補償モジュール 10 が挿入される光伝送路の信号光波長帯域における波長分散を補償する。損失等化器 12 は、信号光波長帯域において分散補償光ファイバ 11 が有する損失波長特性を補償する。分散補償モジュール 10 全体の総合損失は、分散補償光ファイバ 11 および損失等化器 12 それぞれの損失波長特性を総合したものであり、波長依存性が小さいものとなる。

【選択図】 図 1

【書類名】 職権訂正データ
 【訂正書類】 特許願

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】 000002130

【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代理人】 申請人

【識別番号】 100088155

【住所又は居所】 東京都中央区京橋二丁目13番10号 京橋ナショナルビル6階 創英国際特許事務所

【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

【識別番号】 100089978

【住所又は居所】 東京都中央区京橋二丁目13番10号 京橋ナショナルビル6階 創英国際特許事務所

【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

【識別番号】 100092657

【住所又は居所】 東京都中央区京橋二丁目13番10号 京橋ナショナルビル6階 創英国際特許事務所

【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】

【識別番号】 100094318

【住所又は居所】 東京都中央区京橋二丁目13番10号 京橋ナショナルビル6階 創英国際特許事務所

【氏名又は名称】 山田 行一

【選任した代理人】

【識別番号】 100110582

【住所又は居所】 東京都中央区京橋二丁目13番10号 京橋ナショナルビル6階 創英国際特許事務所

【氏名又は名称】 柴田 昌聰

特平10-086296

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000002130]

1. 変更年月日 1990年 8月29日

[変更理由] 新規登録

住 所 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
氏 名 住友電気工業株式会社